

# Especificaciones Técnicas de un Actuador Lineal para un Simulador de Vuelo

Diego García Bouron  
9no. Semestre

David Aguilera  
9no. Semestre

Germán Ulloa  
9no. Semestre

Gerardo Viscarra  
9no. Semestre

Fernando Soto  
9no. Semestre

Ing. Erik Pozo  
Diseño de Sistemas Mecatrónicos

**Abstract—En este documento se describen cuáles son las características técnicas más importantes del actuador lineal que se está diseñando como trabajo final de la materia de Diseño de Sistemas Mecatrónicos.**

## I. INTRODUCCIÓN

Desde la primera mitad del siglo XX se empezaron a desarrollar simuladores de vuelo para entrenar a pilotos principiantes y evitar siniestros debido a la falta de experiencia.

El primer simulador de vuelo fue desarrollado por la compañía francesa Antoinette en 1910 por iniciativa de comandantes de la fuerza aérea francesa. Este simulador contaba con un marco y un barril para reproducir la cabina de vuelo (Vincenzi, Wise, Mouloua, & Hancock, 2009).

Con el paso del tiempo y las necesidades que surgieron debido a las dos guerras mundiales, fueron apareciendo simuladores cada vez más avanzados y sofisticados como el de Edwin Link, el cual contaba con actuadores neumáticos. Este simulador fue muy utilizado por la compañía de correo estadounidense y el Ejército de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial (Mechanical & Landmark, 2000).

En 1954 United Airlines compró el primer simulador que incluía sonido e imágenes fabricado por Curtiss-Wright. Este fue el primer simulador de vuelo usado para aeronaves comerciales. Este simulador contaba con actuadores hidráulicos lineales (“Airline Pilots Fly Anywhere in the World - Without Leaving the Ground,” 1954).

Los actuadores hidráulicos lineales son actualmente muy utilizados en este tipo de simuladores. Sin embargo, no son el único tipo de actuadores usados. Existen muchos simuladores y propuestas de simuladores que utilizan actuadores eléctricos lineales (Van Roy, 2015). En este proyecto se realizará un actuador lineal eléctrico compuesto por un motor DC, una correa dentada para el cambio de movimiento circular a lineal y un pistón.

## II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los aviones modernos son sistemas que requieren de una preparación rigurosa para poder ser pilotados sin riesgo alguno para el piloto mismo y los pasajeros. Por esta razón el uso de simuladores de vuelo es algo menester dentro de la industria aeronáutica. Sin embargo, este tipo de simuladores se caracterizan por sus precios elevados ya que en su mayoría utilizan actuadores hidráulicos. Por esta razón son prácticamente inaccesibles para compañías aeronáuticas pequeñas como las que están presentes en nuestro país.

## III. OBJETIVOS

### A. Objetivo General

Aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Mecatrónica para desarrollar un actuador eléctrico lineal de una plataforma de simulador de vuelo de una aeronave Cessna 177.

### B. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño mecánico del actuador lineal
- Realizar el diseño eléctrico del sistema
- Realizar la programación del controlador (Arduino Uno)

## IV. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### A. Función del Actuador

- Grados de Libertad: 1
- Tipo de movimiento: lineal
- Peso máximo admitido: 50 kg.
- Velocidad de actuación: 0.5 m/s
- Aceleración de actuación:
- Longitud de Carrera: 50,23 cm

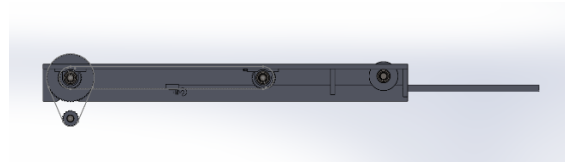
### B. Casos de Uso para Subproceso

- 1) Se transmite por serial una velocidad y se recibe por potenciómetro retroalimentación.
- 2) Se acciona uno de los finales de carrera deteniendo el actuador.

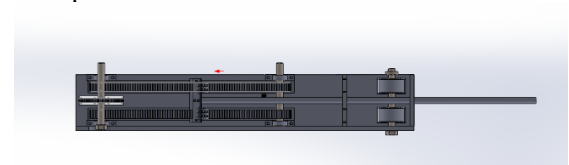
## V. PROPUESTA TÉCNICA

### A. Diseño General

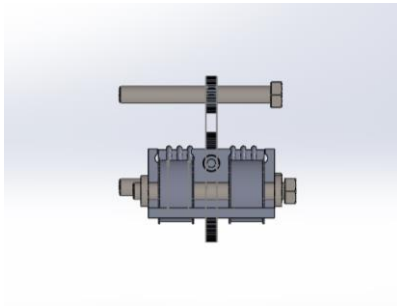
#### a. Vista lateral



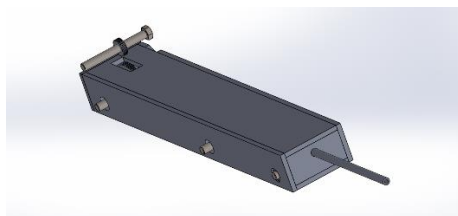
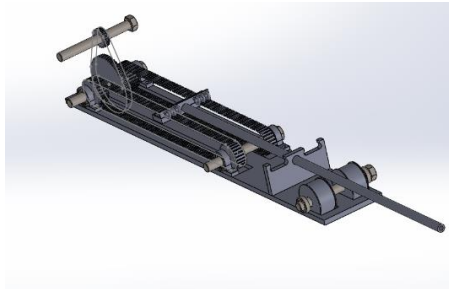
#### b. Vista planta



c. Vista frontal



d. Otras vistas



e. Vistas detalladas por pieza  
Véase anexo de planos de piezas

B. Diseño Estructural

a. Cálculo de elásticos

Primero determinamos el coeficiente de elasticidad experimentalmente.

Usamos un peso de 25N para estirar el elástico y dio como resultado una deformación de 0.6m. Por lo tanto, el cálculo para determinar el coeficiente k fue el siguiente:

$$F = -kx$$

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{25N}{0.6m}$$

$$k = 41.6N / m$$

Con dicho coeficiente determinamos la cantidad de elásticos necesarios para alzar 28kg, tomando en cuenta que la máxima deformación permitida es de 0.7m dadas las características del diseño de la estructura.

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F - yF_R = m \cdot \ddot{x}$$

$$mg - y(kx) = m \cdot \ddot{x}$$

$$274 - y(41.6 \cdot 0.7) = 0$$

$$274 = y \cdot 29.12$$

$$y = 9.4 \approx 9$$

Por lo tanto, son necesarios 9 elásticos de 0.7m o 9 vueltas de nuestro elástico con una longitud final de 0.7m.

b. Cálculo de Poleas

Se tomó en cuenta la siguiente ecuación de relación de transmisión de poleas:

$$V_2 \cdot d_2 = V_1 \cdot d_1$$

En base a dicha ecuación se calculó la fuerza final en Newton.

Relacion de transmision de las poleas con el motor de la cueva				
Poleas	Diametro [mm]	Velocidad [RPM]	Torque [Nm]	Fuerza [N]
1	40	161	2,2	
2	120	53,66	6,73	
3	60	53,66	6,73	224,3333

En la tabla se especifican los diámetros de nuestras poleas y el torque final que sería de 6.73Nm y la fuerza sería de 224.33N, lo que significa que el sistema podría soportar 22.8kg. Si sumamos el 22.8kg mas los 28 kg conseguidos con el sistema elástico, entonces da como resultado 50.8kg, que sería la masa que soportaría el actuador lineal que estamos construyendo.

Lista de Materiales Mecánicos

Descripcion	Codigo	Precio/Item	Cant.	Subtotal
Venesta de MDF 1.83 x 1.375 12mm		250,00	1	250
Rodamientos	61904	20,00	4	80
Pernos 20M - 140 longitud	24018	25,00	2	50
Tubo 18mm		30,00	1	30
Tuerca		2,00	20	40
Tornillo encarne		0,50	50	25
Correa 25M		90,00	2	180
Correa 19M		60,00	1	60
Ganchos		5,00	20	100
Elastico		8,90	12	106,8
pernos M6		1,00	20	20
SUBTOTAL				941,8

Para encontrar una versión de mayor calidad de la tabla véase anexos.

C. Diseño Electrico

a. Voltaje necesario: 19V

b. Corriente Necesaria:  $I_a = \frac{0.1[m] \cdot F}{K_t}$

En base a las siguientes ecuaciones:

$$\tau = F \cdot r$$

$$r_1 = 3$$

$$r_2 = 6$$

$$r_3 = 2$$

$$i = \frac{1}{3}$$

$$\tau_2 = \tau_1$$

$$\tau_3 = \frac{1}{3} \cdot \tau_2$$

$$\tau_3 = \frac{1}{3} \cdot 150$$

$$\tau_3 = 50Kg \cdot cm \cdot \frac{9.8N}{1Kg} \cdot \frac{1m}{100cm} = 4.9Nm$$

$$\tau_m = F \cdot \frac{9.8}{100} = F \cdot 0.1$$

$$\tau_m = k_t \cdot I_a$$

$$I_a = \frac{0.1F}{k_t}$$

#### D. Analisis de motores y eleccion

Item	Motor	voltaje (v-dc)	corriente (A)	torque (Nm)	potencia (hp)	potencia (cv)	potencia (w)	velocidad (rpm)
1	motor de la cueva	19	2	2,22	0,051	0,052	38	161
2	camionadora	220	5	2,11	1,500	1,520	1118,55	5000
3	arrancador de moto	12	100	23,54	1,973	2,026	1491,4	60-100
4	JK57HS112-3004 (paso a paso NEMA23)	4,8	3	2,80	0,020	0,020	15	60
5	PG16M050(0501212000)	12	0,16	0,98	0,003	0,003	2,4	9600
6	HTVZ MOTOR ( MOTOR DE PARABRIZAS)	12	13	1,996	0,209	0,212	156	75

Para encontrar una versión de mayor calidad de la tabla véase anexos.

Se utilizará el motor de la cueva ya que este cumple con los requisitos buscados para este proyecto, que son un buen par motor, y consumo aceptable, en comparación a las demás propuestas, el siguiente a ser escogido es el motor camionador, por la disponibilidad inmediata. El siguiente será el arrancador de moto.

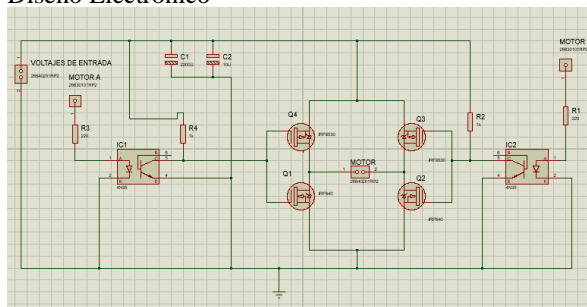
#### E. Elección de Fuente

Esta fuente tiene las siguientes características: 24V dc y 5 amp. Ya que el consumo del motor es de 19 v y 3 amp.



#### F. Diseño Electronico y computacional

##### a. Diseño Electrónico



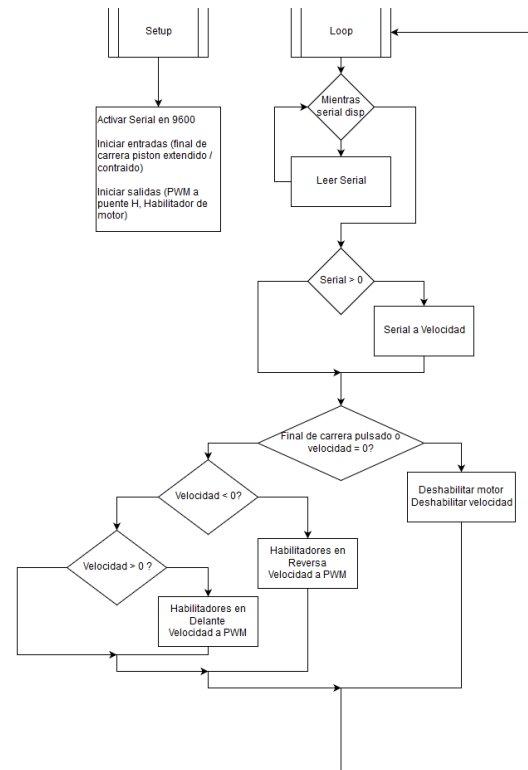
Esquema electrónico del PUENTE H propuesto para el control de giro y velocidad del actuador. Para mayor detalle véase Anexo de Plano Electrónico

##### Lista de Materiales Electrónicos

PRESUPUESTO DE PARTES ELECTRONICAS				
Descripción	Código	Precio/Item	Cant.	Subtotal
Arduino	MEGA 2560	130,00	1	130
OCTOACOPADOR	4N32	11,50	2	23
MOSFET PARA ALTO VOLTAJE/TIPO N	JS44N50H	5,27	4	21,06
220 OHM- 1/4 W	RESISTENCIA	4,00	2	8
1KOHM- 1/4 W	RESISTENCIA	7,76	2	15,52
10 KOHM-1/4W	RESISTENCIA	4,00	4	16
2200UF-250V	CAPACITOR	4,00	1	4
10UF-250V	CAPACITOR	4,00	1	4
diodo 15amp	N-HFA15TB60	4,85	4	19,4
punte de diodos	KBU1010	10,10	1	10,1
Fuente 24Vdc 5A		110,00	1	110
SUBTOTAL				361,08

Para encontrar una versión de mayor calidad de la tabla véase anexos.

##### b. Diseño computacional



Para encontrar una versión de mayor calidad de este diagrama véase anexo.

- Interfaz de usuario: Monitor serial de Arduino IDE
- Entradas: Potenciómetros, Final de Carrera
- Salidas: Control PWM

##### G. Cronograma

Véase anexo de cronograma

##### H. Propuesta Economica

La propuesta económica es de 1647.08 Bolivianos (Véase anexos).

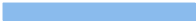
#### VI. REFERENCIAS

- Van Roy, R. (2015). Simproject.nl. Retrieved May 2, 2019, from <http://simprojects.nl/>
- Airline Pilots Fly Anywhere in the World - Without Leaving the Ground. (1954). Popular Mechanics.
- Mechanical, A. H., & Landmark, E. (2000). The Link Flight Trainer.
- Vincenzi, D. A., Wise, J. A., Mouloua, M., & Hancock, P. A. (Eds.). (2009). Human Factors in Simulation and Training. CRC Pres

ID	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish	Predcedor	Encargado
1	Plataforma de Movimiento para Simulación de Vuelo MMG	22 days	Mon 1/4/19	Tue 30/4/19		Todo el equipo
2	Definición de Cronograma	5 days	Mon 1/4/19	Fri 5/4/19		Todo el equipo
3	Diseño Estructural	22 days	Mon 1/4/19	Tue 30/4/19		Diego García, German Ulloa
4	Busqueda de Bibliografía	2 days	Mon 1/4/19	Tue 2/4/19		Diego García, German Ulloa
5	Diseño de Partes Estructurales	5 days	Wed 3/4/19	Tue 9/4/19	4	Diego García, German Ulloa
6	Selección de materiales a ser utilizadas	2 days	Wed 10/4/19	Thu 11/4/19	5	Diego García, German Ulloa
7	Determinar presupuesto de partes	2 days	Thu 25/4/19	Fri 26/4/19		
8	Compra de materiales	2 days	Mon 29/4/19	Tue 30/4/19	6	Diego García, German Ulloa
9	Diseño Eléctrico	22 days	Mon 1/4/19	Tue 30/4/19		Gerardo Viscarra, Fernando Soto
10	Busqueda de Bibliografía	2 days	Mon 1/4/19	Tue 2/4/19		Gerardo Viscarra, Fernando Soto
11	Diseño de Circuitos de Alimentación Eléctrica	3 days	Wed 3/4/19	Fri 5/4/19	10	Gerardo Viscarra, Fernando Soto
12	Materiales eléctricos a utilizar	2 days	Mon 8/4/19	Tue 9/4/19	11	Gerardo Viscarra, Fernando Soto
13	Presupuesto Electrico	2 days	Mon 1/4/19	Tue 2/4/19		
14	Compra de materiales	4 days	Thu 25/4/19	Tue 30/4/19		Gerardo Viscarra, Fernando Soto
15	Documento de Comparacion de Motores	5 days	Mon 22/4/19	Fri 26/4/19		Gerardo Viscarra, Fernando Soto
16	Dimencionamiento de la Bateria	5 days	Tue 23/4/19	Mon 29/4/19		Gerardo Viscarra, Fernando Soto
17	Diseño Electrónico / Computacional	22 days	Mon 1/4/19	Tue 30/4/19		David Aguilera, Diego Garcia
18	Busqueda de Bibliografía	2 days	Mon 1/4/19	Tue 2/4/19		David Aguilera, Diego Garcia, German Ulloa, Fernando Soto
19	Diseño de Circuito Electrónicos	2 days	Wed 3/4/19	Thu 4/4/19	18	David Aguilera, Diego Garcia
20	Diseño Computacional y Algoritmos de Drivers	1 wk	Wed 3/4/19	Tue 9/4/19	18	David Aguilera, Diego Garcia
21	Materiales Electrónicos	3 days	Wed 10/4/19	Fri 12/4/19	20	David Aguilera, German Ulloa
22	Presupuesto Electrónico	2 days	Thu 25/4/19	Fri 26/4/19		David Aguilera, Fernando Soto
23	Compra de materiales electronicos	4 days	Thu 25/4/19	Tue 30/4/19		David Aguilera, German Ulloa
24	Propuesta Económica	3 days	Thu 25/4/19	Mon 29/4/19	21	Todo el equipo

Proyecto: Cronograma\_Plat\_Mo  
Fecha: Fri 3/5/19

Tarea



Resumen inactivo



Tareas externas



División



Tarea manual



Hito externo



Hito



solo duración



Fecha límite



Resumen



Informe de resumen manual



Tareas críticas



Resumen del proyecto



Resumen manual



División crítica



Tarea inactiva



solo el comienzo



Progreso



Hito inactivo



solo fin



Progreso manual

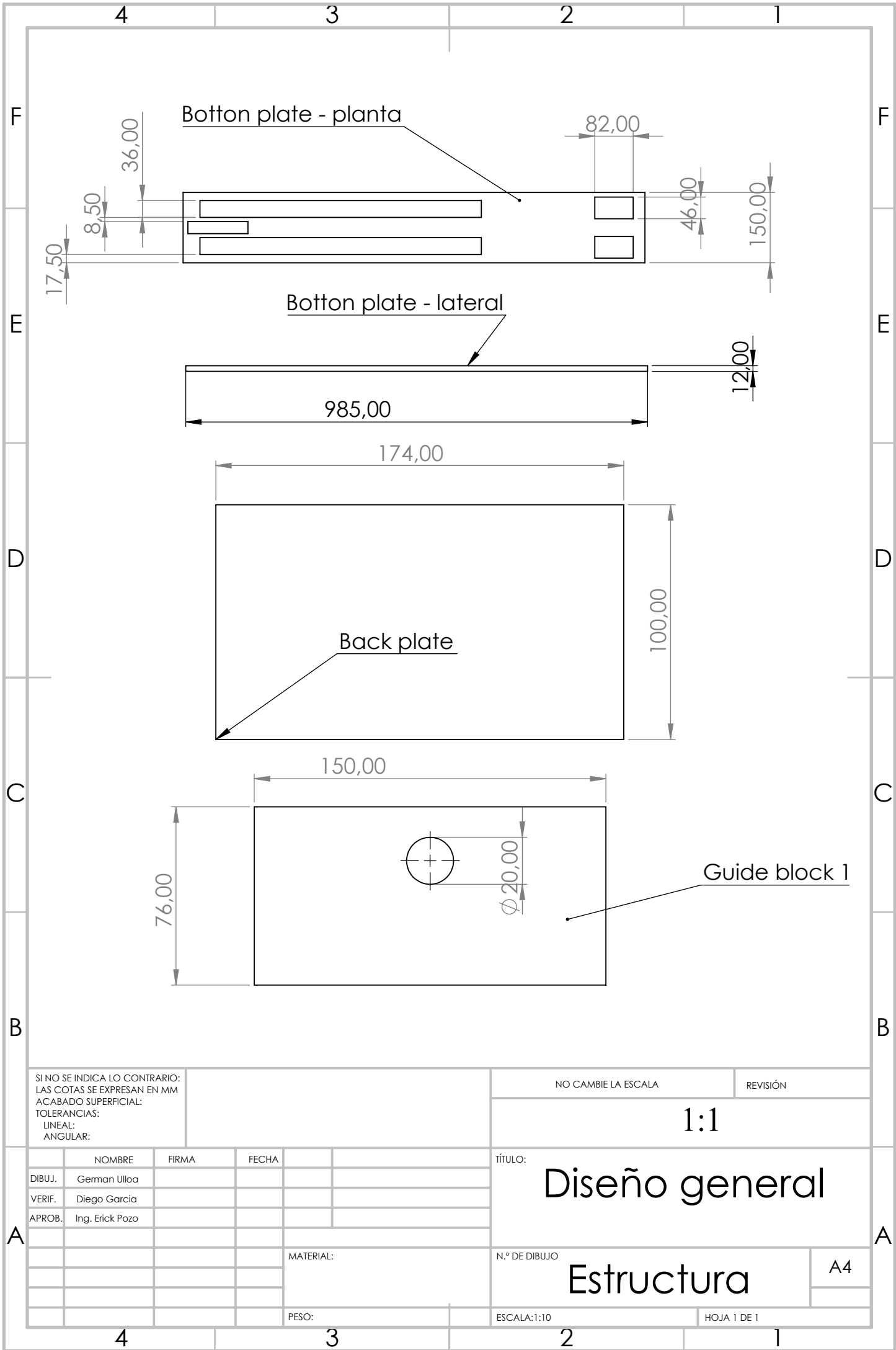


## Presupuesto de Proyecto

PRESUPUESTO DE PARTES ELECTRONICAS				
Descripcion	Codigo	Precio/Item	Cant.	Subtotal
Arduino	MEGA 2560	130,00	1	130
OCTOACOPLADOR	4N32	11,50	2	23
MOSFET PARA ALTO VOLTAJE/TIPO N	JS44N50H	5,27	4	21,06
220 OHM- 1/4 W	RESISTENCIA	4,00	2	8
1KOHM- 1/4 W	RESISTENCIA	7,76	2	15,52
10 KOHM-1/4W	RESISTENCIA	4,00	4	16
2200UF-250V	CAPACITOR	4,00	1	4
10UF-250V	CAPACITOR	4,00	1	4
diodo 15amp	N-HFA15TB60	4,85	4	19,4
punte de diodos	KBU1010	10,10	1	10,1
Fuente 24Vdc 5A		110,00	1	110
SUBTOTAL				361,08
PRESUPUESTO DE PARTES MECANICAS				
Descripcion	Codigo	Precio/Item	Cant.	Subtotal
Venesta de MDF 1.83 x 1.375 12mm		250,00	1	250
Rodamientos	61904	20,00	4	80
Pernos 20M - 140 longitud	24018	25,00	2	50
Tubo 18mm		30,00	1	30
Tuerca		2,00	20	40
Tornillo encarne		0,50	50	25
Correa 25M		90,00	2	180
Correa 19M		60,00	1	60
Ganchos		5,00	20	100
Elastico		8,90	12	106,8
pernos M6		1,00	20	20
SUBTOTAL				941,8
				1302,88

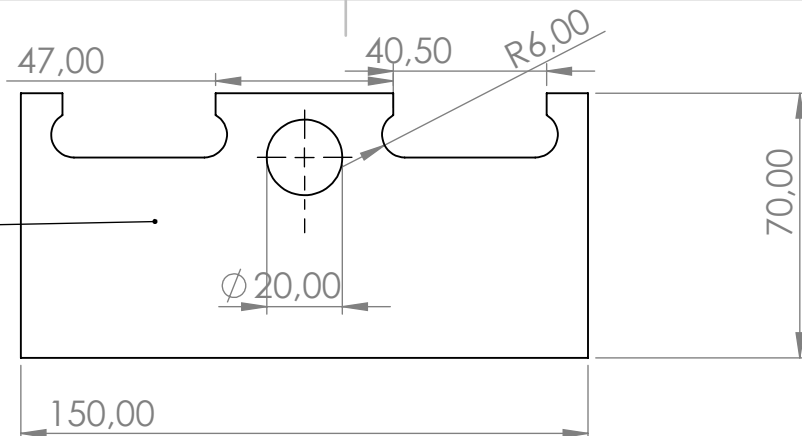
# Analisis de Motores

item	Motor	voltaje(v-dc)	corriente(A)	torque(Nm)	potencia(hp)	potencia(cv)	potencia(w)	velocidad(rpm)
1	motor de la cueva	19,000	2,000	2,222	0,051	0,052	38,000	161,000
2	caminadora	220,000	5,000	2,106	1,500	1,520	1118,550	5000,000
3	arrancador de moto	12,000	100,000	23,540	1,973	2,026	1491,400	60-100
4	JK57HS112-3004 (paso a paso NEMA23)	4,800	3,000	2,800	0,020	0,020	15,000	60,000
5	PG16M050(0501212000)	12,000	0,160	0,980	0,003	0,003	2,400	9600,000
6	HTVZ MOTOR (motor de parabrisas)	12,000	13,000	1,996	0,209	0,212	156,000	75,000

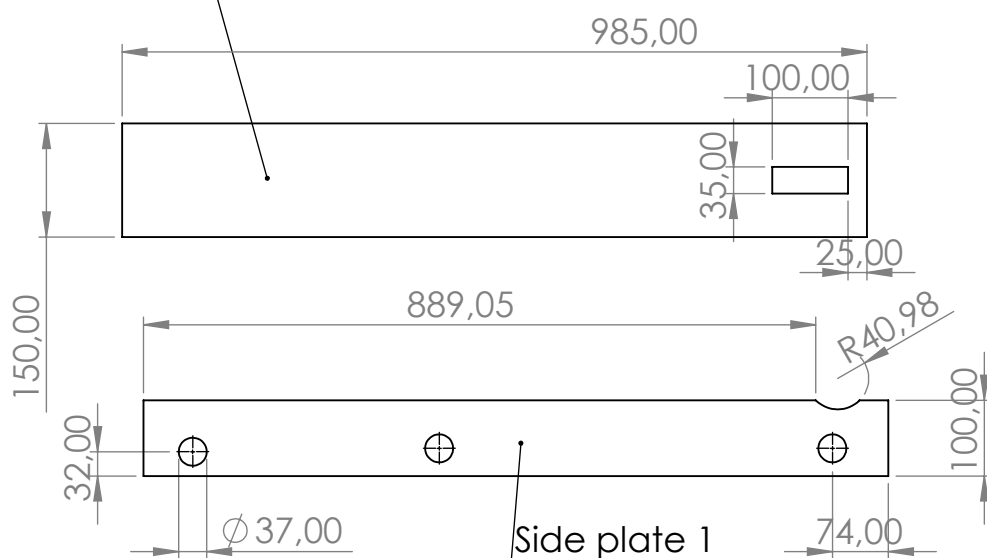




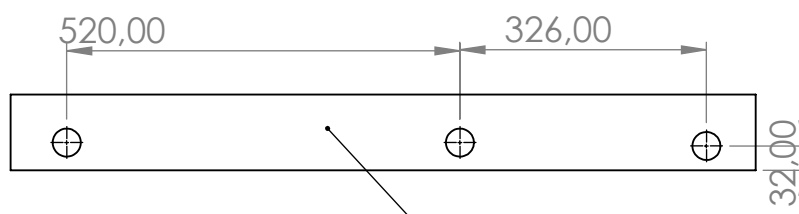
Guide block 2



Top plate



Side plate 1



Side plate 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL:  
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

1:1

TÍTULO:

Diseño General

N.º DE DIBUJO

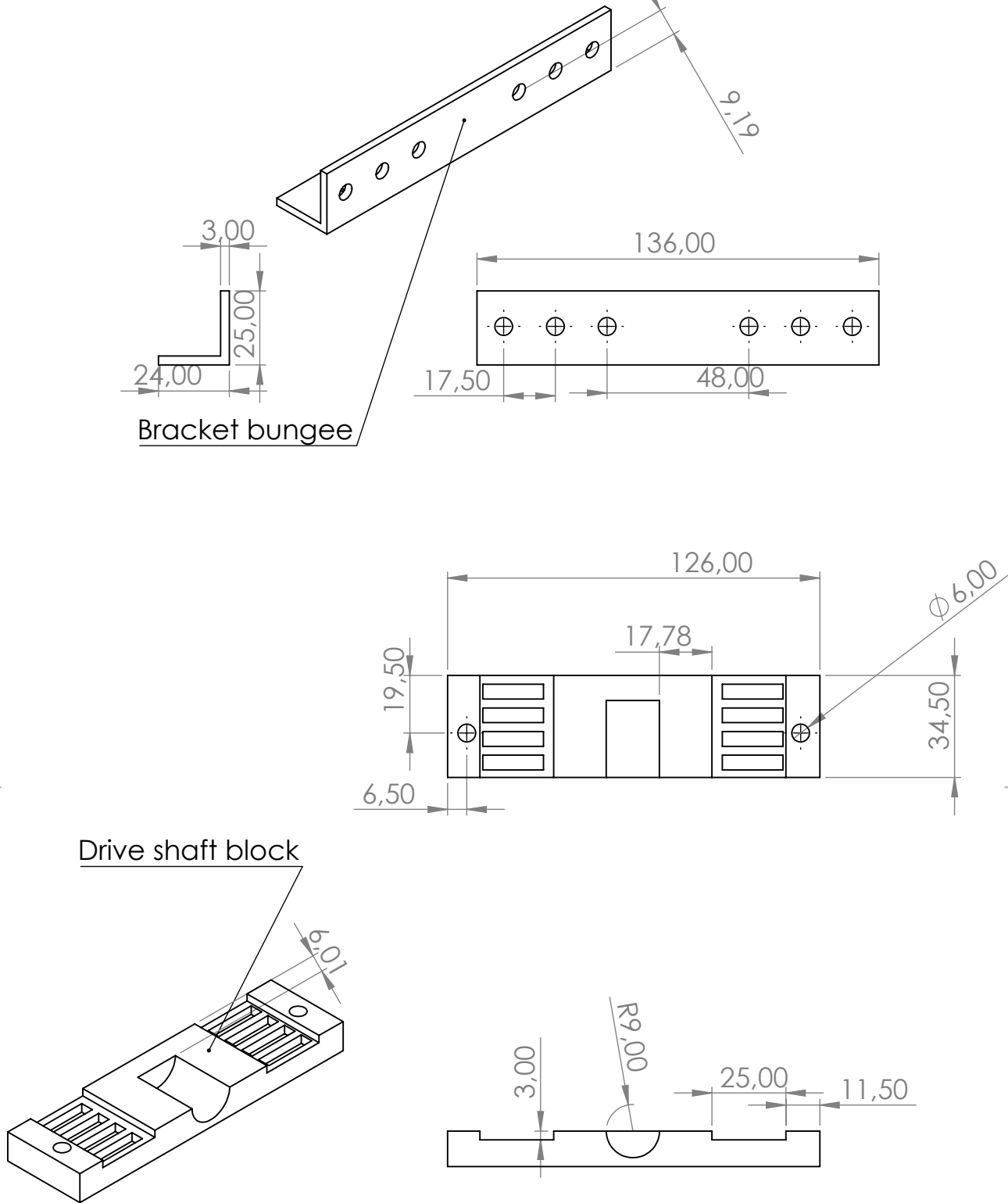
Estructura

A4

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL:  
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

1:1

TÍTULO:

Diseño general

N.º DE DIBUJO

Estructura

A4

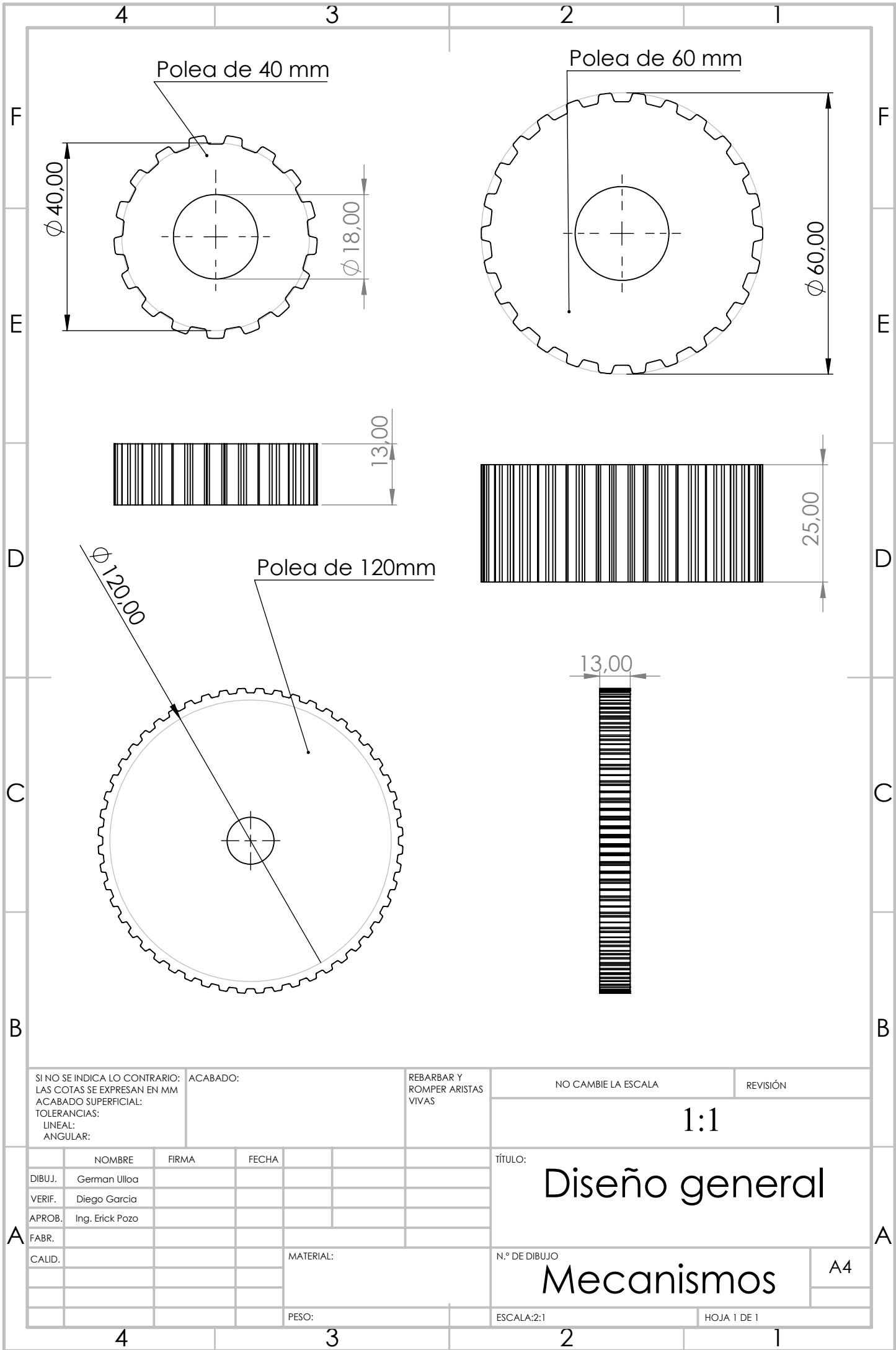
MATERIAL:

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1

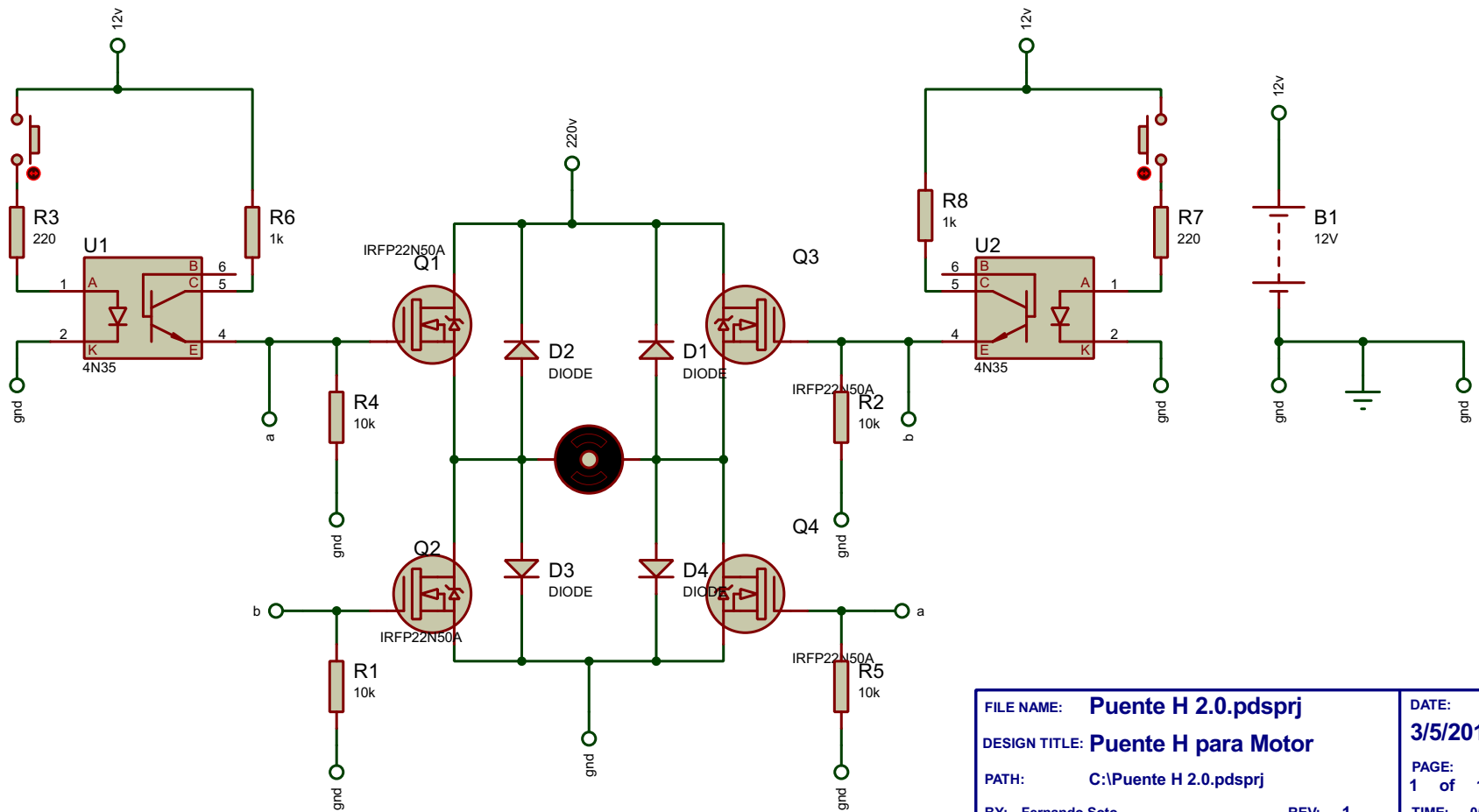
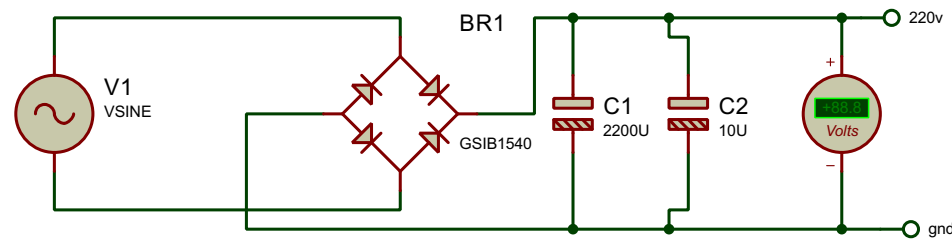
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	German Ulloa				
VERIF.	Diego Garcia				
APROB.	Ing. Erick Pozo				
FABR.					
CALID.					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
						1:1			
TÍTULO:						Diseño general			
N.º DE DIBUJO									
MATERIAL:						A4			
PESO:						ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	German Ulloa				
VERIF.	Diego Garcia				
APROB.	Ing. Erick Pozo				
FABR.					
CALID.					





FILE NAME: <b>Puente H 2.0.pdsprj</b>		DATE: <b>3/5/2019</b>
DESIGN TITLE: <b>Puente H para Motor</b>		PAGE: <b>1 of 1</b>
PATH: <b>C:\Puente H 2.0.pdsprj</b>		TIME: <b>05:18:03</b>
BY: <b>Fernando Soto</b>		REV: <b>1</b>

PROJECT:

ACTUADOR LINEAL

A4/1

DRAWING NO.

1

PROJECT NO.

06/05/18

DATE.

TITLE:

DIAGRAMA DE FLUJO

1:80

SCALE AT A4.

DA

DRAWN.

GU

CHECKED.

B

REVISION.

AMENDMENTS:

REV:	DESCRIPTION:	BY:	STAT:
A	PRIMERA EDICION	DA	OBSLTO
B	ADICION DE FUNCIONES, CAMBIO DE FUNCIONAMIENTO PUENTE H	DA	ACTUAL

